

СЕКЦІЯ 9 МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ

УДК 531.424

ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ МАТЕРІАЛУ ГИР МЕТОДОМ ГІДРОСТАТИЧНОГО ЗВАЖУВАННЯ

Ціпоренко С. В.

Державне підприємство "Всеукраїнський державний науково-виробничий центр
стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів"

(ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»), Київ, Україна

E-mail: s_tsiporenko@ukrcsm.kiev.ua

Зазвичай вимірювання маси виконують в умовах навколишнього повітря, тобто, коли на об'єкт зважування впливає виштовхувальна сила повітря. Результат такого зважування буде пропорційний силі тяжіння. Дію сили тяжіння в процесі зважування частково компенсуватиме виштовхувальна сила повітря, пропорційна масі повітря, витісненого об'єктом зважування:

$$F = mg - \rho_a g V = mg - \rho_a g \frac{m}{\rho} = mg \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho} \right), \quad (1)$$

де ρ_a , ρ – густина повітря та об'єкта зважування відповідно.

Якщо ж в процесі вимірювання між собою порівнюють випробну гирю густиною ρ_t з еталонною гирею густиною ρ_r , то з урахування дії виштовхувальної сили повітря рівняння такого зважування можна записати у наступному вигляді:

$$m_t \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_t} \right) = m_r \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \right) + \Delta m_w, \quad (2)$$

де Δm_w – значення маси, яке дорівнює різниці показів зважувального приладу.

Аналізуючи дане рівняння можна дійти висновку, що для визначення маси випробної гирі понад 1 г із відносною невизначеністю $U_m/m < 1,5 \cdot 10^{-6}$ густина випробної та еталонної гир мають бути відомі із відносною невизначеністю $U_\rho/\rho < 0,006$.

Одним із точних способів визначення густини твердих тіл є застосування методу гідростатичного зважування, тобто зважування зануреного у рідину об'єкта. Існує декілька способів реалізації даного методу. Сутність найточніших із них полягає у вимірюванні зменшення маси твердого тіла зануреного в рідину. Для цього необхідно виконати два незалежних зважування за методом заміщення у середовищах різної густини, зазвичай, це повітря (див. а на рис.1) та дистильована вода (див. б на рис. 1).

Нижче описано застосування методу гідростатичного зважування на прикладі гир. Під час першого зважування за методом заміщення порівнюють

випробну гирю t та еталонну гирю r_1 масою m_{r1} в повітрі, густина якого становить ρ_{a1} . Під час другого зважування за методом заміщення порівнюють випробну t , занурену у рідину густиною ρ_{pid} , із другою еталонною гирею r_2 масою m_{r2} , яку зважують у повітрі густиною ρ_{a2} . У більшості випадків, поправки обумовлені дією виштовхувальної сили повітря на еталонні гирі під час першого та другого зважувань суттєво не відрізняються. Враховуючи це, густину випробної гирі за результатами її зважувань у повітрі та рідині можна обчислити за формулою:

$$\rho_t = \frac{\rho_{pid} \cdot (m_{r1} + \Delta m_{w1}) - \rho_{a1} \cdot (m_{r2} + \Delta m_{w2})}{m_{r1} + \Delta m_{w1} - m_{r2} - \Delta m_{w2}}, \quad (3)$$

де Δm_{w1} – різниця показів зважувального приладу під час першого зважування у повітрі випробної t та еталонної r_1 гир;

Δm_{w2} – різниця показів зважувального приладу під час другого зважування випробної гирі t , зануреної у рідину, та еталонної гирі r_2 у повітрі.

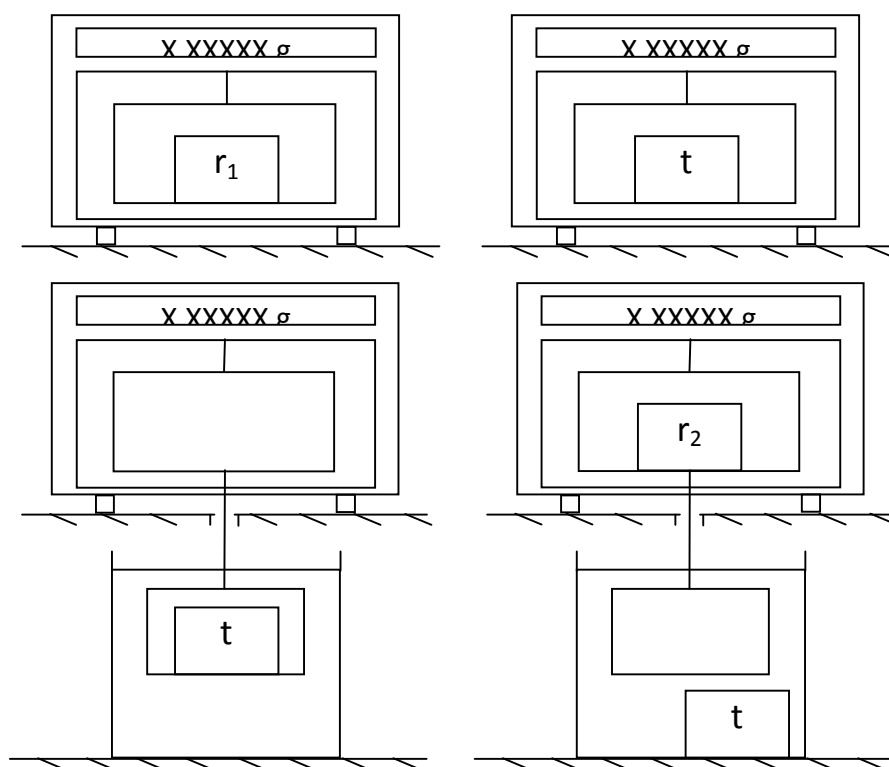


Рис. 1. Принцип гідростатичного зважування

З урахуванням того, що маса та густина еталонних гир є корельованими величинами, відносна невизначеність вимірювання густини випробної гирі можна обчислити за формулою:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 = \left(c(\rho_{a1}) \frac{u(\rho_{a1})}{\rho_{a1}} \right)^2 + \left(\frac{u(\rho_{pid})}{\rho_{pid}} \right)^2 +$$

$$+c^2(m_r) \left[\left(2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{w1})}{m_{r1}} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{w2})}{m_{r2}} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{nam})}{m_{r2}} \right)^2 + u_c^2 \right], \quad (4)$$

де

$$c(\rho_{a1}) = \frac{\rho_{a1}}{\rho_t} \left(\frac{\rho_t}{\rho_{pid}} - 1 \right); \quad |c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_{pid})}{\rho_{pid}};$$

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{r1})}{m_{r1}} + \frac{u(m_{r2})}{m_{r2}} \right); \quad u_c = \left(\frac{\rho_t}{\rho_{pid}} - 1 \right) \left(\frac{\rho_{a1}}{\rho_{r1}} - \frac{\rho_{a2}}{\rho_{r2}} \right),$$

$u(m_{nam})$ – невизначеність, обумовлена впливом поверхневого натягу на підвіску;

$\frac{u(\rho_{pid})}{\rho_{pid}}$ – відносна невизначеність густини рідини, в яку занурюють випробну гирю під час другого зважування.

На підставі проведених в ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» досліджень було доведено, що застосування описаного вище способу гідростатичного зважування дозволяє визначати густину матеріалу гир із невизначеністю до $0,2 \text{ кг/м}^3$. Це дає змогу більш точно обчислити значення поправки на дію виштовхувальної сили повітря порівняно із результатами обчислень цієї ж поправки із застосуванням довідкових значень густини матеріалу, і як наслідок, підвищити точність визначення маси гир під час їх калібрування.

Ключові слова: гирі, густина, зважування, гідростатика.

УДК 681.26

ВИМІРЮВАННЯ «ВЕЛИКИХ» СИЛ ГРУПОЮ ПАРАЛЕЛЬНО НАВАНТАЖЕНИХ ДАТЧИКІВ

Ціпоренко О. В.

Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»), Київ, Україна

E-mail: tsiporenko@gmail.com

Проблема вимірювання значень сили у діапазоні понад 5 МН лишається актуальною вже протягом не одного десятиліття. За цей час було запропоновано багато моделей вимірювання. Оскільки більшість національних еталонів одиниці сили у світі рідко перевищує межу відтворення одиниці у розмірі 1 МН, виникають складнощі із передачею розміру одиниці і вимірювання у діапазонах понад ці значення. Частково це питання дозволяє вирішити метод паралельного навантаження групи динамометрів (3 або більше). В нашому випадку розглянемо групу із трьох паралельно навантажених датчиків сили, оскільки три точки завжди утворюють площину у